futuro
Suplemento de ciencias de Página/12
Año 19 / Nº 957 | 19 . 07 . 2008



FRONTERAS, FORMAS Y FLUIDOS

Turbulencia: el último clásico

Las fronteras del conocimiento están donde uno menos se lo espera; no solamente en las profundidades del átomo o en los lejanos rincones del universo: hay sistemas macroscópicos (como los turbulentos) que son, todavía, difíciles de explicar, complicados de abarcar mediante una ley general. Una frontera, aquí nomás, a tiro de una canilla o del humo de un cigarrillo que se eleva rectamente y que de pronto se deshace en numerosos torbellinos.

Turbulencia...

POR MATIAS ALINOVI

1. LA TRADICION

Las escalas menores de todo género narrativo, los relatos dentro del relato, establecidos por el uso, suelen construirse sobre supuestos problemáticos. La divulgación emplea esos recursos con monótona prodigalidad. Por ejemplo, la frase grandilocuente del científico célebre que admite referencias a Dios para dejar establecida una relación jerárquica de relativa igualdad; como si ambos, Dios y la celebridad, se ocuparan en definitiva de los mismos temas. Ya no podemos leer sin bostezar que Dios no juega a los dados, ni que Bertrand Russell se preparaba para enfrentar la ira de Dios ante su incredulidad repitiendo: "no nos has dado evidencia suficiente".

Reprimamos, sin embargo, un último bostezo para leer que en 1932 Sir Horace Lamb admitió ante la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia ser un hombre ya viejo, que esperaba morir y ser finalmente esclarecido en dos materias: la electrodinámica cuántica y la turbulencia de los fluidos. "Respecto de la primera –habría rematado Sir Horace–, soy francamente optimista." Una tradición apócrifa conspira, sin embargo, contra el ingenio de Lamb atribuyendo una salida casi idéntica a Heisenberg. En su caso, previsiblemente, la relatividad ocupa el lugar de la electrodinámica cuántica.

Sin mayor esfuerzo entendemos entonces, gracias a los recursos menores del género, que, por lo menos hacia 1932, el problema de la turbulencia de los fluidos no había sido resuelto y que el pronóstico de su esclarecimiento en la Tierra no era el más optimista. No se trataba, ciertamente, de un problema nuevo. Con ese aire inaugural que confieren sus bocetos a todo lo bocetado, Leonardo da Vinci había dibujado flujos turbulentos a principios del siglo XVI, y a finales del XIX Osborne Reynolds los estudiaba inyectando pacientemente chorros de tinta en un conducto de agua quieta. Es convencional decir también que los mejores físicos y matemáticos –W. Heisenberg, R. Feynman, A. Kolmogorov– fracasaron al intentar resolver el problema.

La turbulencia es un fenómeno complejo, aparentemente aleatorio, pero que presenta al mismo tiempo ciertos patrones ordenados, cierta regularidad. Es difícil subestimar su importancia. Sin turbulencia no ocurriría la mezcla explosiva de aire y combustible que hace funcionar los motores, serían distintos los fenómenos del transporte del calor, y hasta se alterarían definitivamente las mareas. Digamos que la vida, tal como la conocemos hoy en la Tierra, no sería posible.

Menos conocida, menos apreciada quizás, es la riqueza intelectual de la discusión del problema, y el lugar central que ocupa en la física moderna. Hace más de cien años que el fenómeno se estudia científicamente. Por esa larga cronología aparentemente infructuosa, se dice también que es el último de los grandes problemas abiertos de la física clásica.

2. EL PROBLEMA

Enciendo un cigarrillo; lo apoyo sobre el brazo del cenicero y veo ascender el humo. El humo asciende formando una columna regular. Es un ascenso ordenado. Pero inopinadamente, en algún punto ignorado del espacio, la regularidad se altera, el humo se bifurca en una suerte de embudo, parece dispersarse aleatoriamente. Sé que lo mismo ocurriría si observara la estela dibujada por el agua, o por el aire, que encuentra a su paso un obstáculo (una piedra en el río, un barco en el mar, el perfil del ala de un avión); la primera parte de la estela es ordenada, la segunda turbulenta.

Todos los fluidos, al moverse, atraviesan esos dos regímenes: el laminar, caracterizado por el orden; el turbulento, caracterizado por el desorden. La pregunta que se plantea el estudio de la turbulencia es: ¿es posible decir algo general sobre el régimen turbulento? ¿Es posible reconocer algún tipo de orden, aunque se sea incapaz de advertirlo a primera vista, como en el caso del régimen laminar? ¿Es posible establecer algún resultado universal sobre el fenómeno, que trascienda las características particulares de cada caso y sirva para todos los regímenes turbulentos?

Ministerio de Salud Bonaerense



FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO DEL HUMO DE UN CIGARRILLO.

3. EL NUMERO CRITICO

Lo primero que uno podría preguntarse es bajo qué condiciones ocurre la transición hacia el régimen turbulento. Eso, precisamente, es lo que se preguntó Osborne Reynolds, un matemático irlandés, hacia 1890. Reynolds observaba el desplazamiento de diversos fluidos a través de una canaleta. Sabía, como lo sabemos nosotros de la experiencia diaria, que si inclinaba un poco la canaleta, y el fluido era viscoso, el régimen turbulento no se alcanzaba nunca. Por el contrario, los líquidos poco viscosos, desplazándose a gran velocidad, entraban rápidamente en régimen. Reynolds se dijo que quizá podría, para cada caso particular, encontrar una cantidad, un número característico, en cuyo cálculo entrarían en juego la viscosidad del fluido, su velocidad y alguna dimensión específica del problema (las canaletas angostas eran más propicias a la turbulencia que las anchas), que le daría una suerte de medida de "la turbulencia de la situación". Para abreviar, digamos que el número que Reynolds propuso es el más importante de la física de fluidos, y que permite -–entre otras cosas-– predecir bajo qué condiciones un flujo particular estará en su régimen laminar y cuándo entrará en su régimen turbulento. El número de Reynolds es la expresión formal de una serie de intuiciones que tenemos de la experiencia cotidiana.

4. LA CASCADA DE ENERGIA, O LA TEORIA DE LA REDISTRIBUCION

Si Reynolds estableció el criterio, las primeras observaciones cualitativas sobre la turbulencia se deben a Lewis Fry Richardson, un matemático británico que aplicó las matemáticas a cuestiones inaugurales, hasta entonces no tocadas por la disciplina: la guerra y la meteorología. Inspirado en principios pacifistas, Richardson intentó un análisis matemático de la guerra que facilitara la predicción de conflictos internacionales. Estableció una relación entre la probabilidad de que dos países entraran en guerra y el largo de su frontera común, que admitía esta sutileza: la probabilidad de la guerra era más sensible a las discrepancias sobre la longitud de una frontera común que a la longitud misma. En registros históricos encontró fuentes que computaban el largo de la frontera entre España y Portugal en ochocientos kilómetros, y fuentes que hablaban de mil doscientos. Después, mediante argumentos fractálicos, razonó la imposibilidad de medir con precisión cualquier frontera.

Pero sus inquietudes meteorológicas (en su libro *Weather Prediction by Numerical Process* –1922–, anterior a la más rudimentaria computadora, proponía métodos numéricos para pronosticar el clima de las próximas veinticuatro horas mediante una calculadora) lo llevaron naturalmente a estudiar los regímenes turbulentos.

Richardson observó que esos regímenes estaban caracterizados por remolinos, zonas de gran actividad, a los que llamó vórtices, que se desplazaban a través de zonas calmas. Los vórtices eran de tamaño variable, y parecían destruirse para dar lugar a otros vórtices, menores y más numerosos. Los primeros vórtices, los que se formaban cuando el fluido entraba en el régimen turbulento, eran de un tamaño que, de algún modo, tenía que ver con las dimensiones características del problema (agitando el agua de recipientes mayores se obtenían vórtices mayores). Esos primeros vórtices se rompían para dar lugar a otros, menores, que a su vez daban lugar a otros menores. ¿Hasta cuándo?

Para expresar su observación Richardson parafraseó al gran escritor Jonathan Swift. En una de sus obras Swift (1733) decía que los naturalistas observaban las pulgas para descubrir que sobre sus lomos tenían pulgas que las mordían, y que a esas pulgas las mordían otras, "y así hasta el infinito". Richardson escribió, en su libro sobre las predicciones meteorológicas, que: "Los grandes vórtices tienen pequeños vórtices / que se alimentan de su velocidad / y los pequeños vórtices otros más pequeños / y así hasta la viscosidad".

¿Por qué "hasta la viscosidad"? Porque Richardson entendió que la energía cinética que se le entregaba a un fluido (no otra cosa es agitarlo sino entregarle energía cinética, energía de movimiento) para que alcanzara el régimen turbulento, y que se manifestaba en la formación de dos o tres grandes vórtices, se dividía, se repartía –se redistribuía, si se quiere–, entre los vórtices que habían surgido de esos dos o tres vórtices iniciales, que a su vez lo redistribuían entre los vórtices más pequeños que surgían del mismo proceso, hasta que de algún modo la viscosidad del fluido, que es la manifestación macroscópica de la fricción molecular, permitía que la energía cinética inicial se disipara efectivamente en forma de energía interna, es decir, en agitación de las moléculas y, en definitiva, en forma de calor. Richardson entendió que la distribución de la energía cinética atravesaba las escalas, subdividiéndose, y llamó al fenómeno, o a la imagen que se había hecho del fenómeno, "cascada de energía".

No se le escapó, sin embargo, la impronta fractálica, por llamarla de alguna manera, del problema, o de la imagen del problema. En definitiva, observando el fluido turbulento a escalas progresivamente menores (haciendo *zooms* progresivos sobre el fluido turbulento) siempre se encontraba una situación equivalente: vórtices subdividiéndose. La descripción cuantitativa del fenómeno de la turbulencia –cualquier ley que en el futuro viniera a describir el fenómeno– debía dar cuenta de esa cualidad.

5. EL MODELO K

El matemático ruso Andrei Kolmogorov (K) tomó el estudio de la turbulencia en el estado de descripción cualitativa en que Richardson lo había dejado, y, aventurando una serie de hipótesis interesantes, logró, hacia 1940, obtener un primer resultado general.

Richardson había observado, correctamente, que los primeros remolinos del régimen turbulento eran particulares, específicos de cada caso. Es decir, su tamaño, su orientación (pero también su velocidad, y el tiempo que tardaban en deformarse) dependían del problema considerado; por ejemplo, de la forma del recipiente que contuviera al fluido.

Ahora bien, K postuló que para números de Reynolds muy altos, es decir, para fluidos muy turbulentos, los movimientos turbulentos de las pequeñas escalas eran estadísticamente isotrópicos. ¿Qué quiere decir isotrópicos? Que no permitían discernir ninguna dirección espacial preferencial. Lo que K postulaba era que a través de la cascada de Richardson, la información geométrica y la información direccional del problema se perdían. Si los grandes vórtices eran distintos en distintos problemas, los pequeños eran siempre iguales a sí mismos, porque a través de la cascada habían perdido la memoria del problema específico del que procedían. K postulaba, en definitiva, que las pequeñas escalas tenían un carácter universal; que eran las mismas para todos los fluidos turbulentos con número de Reynolds suficientemente alto.

Digámoslo así: K entendió, filosóficamente, que la turbulencia *era* el modo en que los vórtices se transferían la energía a partir de una cierta escala; que la turbulencia era la forma de la redistribución de la energía entre las escalas. Y que por eso todos los zooms se parecían, porque el mecanismo de redistribución de la energía atravesaba todas las escalas. En aquellos pasos redistributivos, la energía no se perdía, simplemente se repartía entre los vórtices.

Era la primera afirmación universal sobre el fenómeno de la turbulencia; pero era un postulado. Para confirmarlo, de alguna manera, K debía emplearlo para deducir una ley que luego pudiera corroborarse mediante mediciones en el laboratorio. Es lo que hizo. Con ese postulado (y algunas otras hipótesis que le permitieron simplificar de algún modo el problema) calculó el espectro de energía del problema, es decir, la función que establecía cómo se distribuía la energía en función del tamaño característico de los vórtices. K obtuvo una función exponencial decreciente, que de algún modo confirmaba aquella impresión de Richardson de la cascada de energía: cuanto menor era la escala considerada, mayor era la tasa a la que se distribuía la energía.

6. LAS DIFICULTADES

Fue una victoria, pero una victoria efímera. El apogeo de una visión de la turbulencia que desde aquel momento empezó a declinar. La teoría de K asumía que la turbulencia era estadísticamente autosemejante a diferentes escalas, es decir, que la estadística era la misma para los distintos vórtices. Pero esa invariancia estadística llevaba a su vez a predecir formas del campo medio de velocidades en el fluido que en la realidad no se observaban. De un modo general, el espectro de K se observaba sólo en casos particulares, lo que resentía su universalidad. Esas discrepancias entre la teoría y las observaciones empíricas condujeron al estudio de los fenómenos de la intermitencia, un nuevo campo que quizá permita corregir la teoría de K y entender qué hay de verdaderamente universal en el fenómeno de la turbulencia.

El problema de la idea de universalidad de la turbulencia consiste en lo siguiente: en realidad, las distintas turbulencias son parecidas en algunos aspectos, pero distintas en otros; un poco como ocurre con los átomos: los mismos elementos esenciales se combinan para formar compuestos distintos entre sí. Con algún escepticismo, uno podría preguntarse si tiene sentido hablar del fenómeno de la turbulencia divorciada del contexto específico en el que se da. Si no tiene sentido, entonces el problema *a la K* está mal planteado.

Hoy los físicos se preguntan si la visión K del fenómeno de la turbulencia, que permitió un primer resultado general, no impidió todo otro avance. O bien la turbulencia es un problema mal formalizado, o bien es algo peor: un problema mal planteado. Quizá sea un fenómeno demasiado complejo para las herramientas –experimentales, teóricas, numéricas– disponibles.

7. MORALEJA

En conclusión, si el modelo a la K está mal planteado, quizá considerar los fenómenos turbulentos del campo, sus patrones inestables, bajo el paradigma de la redistribución, sea un error. Lo que es seguro es que permitió una victoria efímera, y que hasta ahora es lo único que hay.

Secretaría de Cultura

CULTURANACION

SUMACULTURA

CHICOS

MÚSICA, TEATRO, CINE, TALLERES, MUESTRAS, VISITAS GUIADAS, JUEGOS Y CONCURSOS



Chocolate Cultura Nación
Espectáculos de música y teatro, y talleres en 57 ciudades de 14 provincias. Participan: Al Tún Tún, Momusi, El Disparate Violeta, Puro Grupo, Apacheta y otros.



Artepibe
Jornadas para democratizar el acceso a la cultura en 70 localidades de 10 provincias, con el grupo de teatro El Globo, espectáculos locales y talleres de construcción de instrumentos musicales, murales, dibujo, historieta, juegos y títeres de papel.



"La Trup Sin Fin", de Hugo Midón, recorre personajes inolvidables de la literatura y el cine. **"Robin Hood"**, de Héctor Presa, se presenta en Ciudad de Santa Fe, Venado Tuerto y Rosario. Teatro Nacional Cervantes.



"Mis amigos los cubistas" invita a los chicos a recorrer la muestra sobre este movimiento, que se expone en el Museo Nacional de Bellas Artes. También se realizan visitas guiadas para conocer el patrimonio y muestras interactivas en distintos museos nacionales.

En todo el país, la Secretaría de Cultura de la Nación implementa programas educativos y genera actividades recreativas para garantizar el ejercicio de los derechos de los niños.

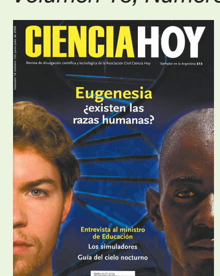
Programación completa en www.cultura.gov.ar



LIBROS Y PUBLICACIONES

CIENCIA HOY

Volumen 18, Número 105, 64 páginas



Esta nueva entrega inaugura sus páginas con un editorial sobre el colectivo Jóvenes Científicos Precarizados (www.precarizados.com.ar), becarios que reclaman al sistema científico argentino, entre otras cuestiones, la no utilización de fondos provenientes de los organismos internacionales de crédito (BID, Banco Mundial) y, además, el reconocimiento de plenos derechos laborales –su *leitmotiv* es "investigar es trabajar"–.

"Es necesario convertir la docencia en una profesión atractiva, que pueda competir con otras de similar importancia social", dice Juan Carlos Tedesco, ministro de Educación, en una extensa entrevista con *Ciencia Hoy*. Esta afirmación bien podría extenderse a la actividad de los becarios, quienes como investigadores en formación no solo comienzan a dar sus primeros pasos en la vida académica, sino que también contribuyen, con sus aportes, a la producción de conocimiento.

El capítulo "Genética, razas y eugenesia" dispara una catarata de interrogantes –y ensaya algunas respuestas– sobre si es posible hablar de razas humanas, el significado de ser racista, de dónde viene este término y cuál es la base científica de las afirmaciones hechas meses atrás por James Watson, ganador del Premio Nobel de Medicina en 1962, por codescubrir la estructura del ADN, quien en octubre pasado, refiriéndose a la relación entre blancos y negros, afirmó: "Nuestras políticas sociales se basan en el hecho de que su inteligencia es igual a la nuestra, mientras que las pruebas indican que no es así".

El papel de la simulación en la ciencia, tecnología presente en la recreación del movimiento de la cabina de un avión o en la reconstrucción en tres dimensiones de un edificio sin terminar; más una completa guía del cielo nocturno, que se extiende desde julio hasta diciembre de este año, completan la entrega. Ciencia que se divulga en un lenguaje cotidiano. Ciencia que invita a pensar.

ADRIAN PEREZ

AGENDA CIENTIFICA

DINOSAURIOS EN LA PLATA

Con la llegada de las vacaciones de invierno los padres piensan en posibles salidas para que los chicos se diviertan y aquí la ciencia hace su ingreso como alternativa para aprender jugando. La Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata y el programa "De Vacaciones con los Dinosaurios" intentan desde lo lúdico que niños y adolescentes se acerquen, entro otras temáticas, a la vida de esos grandes animales que reinaron hace millones de años.

Los talleres se realizarán del 28 de julio al 1 de agosto donde docentes y estudiantes compartirán sus conocimientos sobre diferentes tópicos."De Vacaciones con los Dinosaurios" invita a los chicos a "hacer de científicos" por un día de la mano de paleontólogos; descubriendo los secretos de la Tierra con los arqueólogos o modelando vasijas como los pueblos originarios hacían hace miles de años.

La inscripción está abierta hasta el 23 de julio, de 9 a 16, en la Secretaría de Extensión, Edificio Administrativo, 1º piso de la FCNyM, calle 60 y 122. Tel: (0221) 4258252/ 4232734 int. 15. Email: secext@fcnym.unlp.edu.ar.

futuro@pagina12.com.ar

Experimentos del futuro

POR ESTEBAN MAGNANI

Preocupado por los avatares del calentamiento global, Lewis Ziska, especialista del Servicio de Investigación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, advierte, experimento mediante, sobre las consecuencias de la emanación de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera.

A esta altura de la evolución, resulta bastante evidente que la naturaleza tiene una capacidad de sobrevivir que difícilmente pueda doblegarse. Es cierto que no todas las especies son capaces de adaptarse a los cambios que se han dado en la historia del planeta, como lo demuestran los dinosaurios que reinaron un día para extinguirse en unos pocos millones de años. Por eso es que, si bien el calentamiento global puede llegar a poner en peligro a muchas especies incluida la humana, difícilmente pueda terminar con la naturaleza, entendida casi como sinónimo de "vida".

Esto es lo que parecen demostrar los experimentos realizados por Lewis Ziska, un especialista en "yuyos" del Servicio de Investigación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Según cuenta el especialista en una extensa nota publicada recientemente en el *New York Times*, la falta de recursos que el Estado norteamericano dedica a la investigación sobre el calentamiento global, su campo de estudio, lo llevó a idear un experimento que arrojó resultados inesperados.

Scott Bauer/Departamento de Agricultura de EE.UU.



CIENTIFICOS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE EE.UU. EXPERIMENTAN SOBRE EL TERRENO.

COSECHARAS LO QUE SIEMBRAS

Lo que hizo Ziska fue aprovechar las condiciones que le ofrecía el medio para estudiar el comportamiento de sus plantas favoritas, los yuyos, no sin antes aclarar que en realidad se califica con esa palabra a cualquier planta que dificulte el crecimiento de aquellas que resultan rentables, algo evidentemente muy subjetivo. Primero comprobó que la temperatura de la ciudad de Baltimore, donde trabaja, era unos 2 grados más alta que en los campos circundantes y que la concentración de dióxido de carbono era de 450 partes por millón (p.p.m.), un quinto más, aproximadamente, que el promedio global y casi el doble del de hace 150 años.

La temperatura y la concentración de CO_2 coincidían con los pronósticos que se espera alcance el planeta en unos 40 años, por lo que prácticamente podía utilizar la ciudad como muestra del futuro global. Ziska tomó tierra de una granja orgánica de las afueras y semillas de 35 especies generalmente consideradas yuyos. Luego plantó los ejemplares en lugares distintos: la granja orgánica, alejada de cualquier ciudad, un parque en las afueras de Baltimore y otro en el centro.

El resultado obtenido en los siguientes 5 años fue sorprendente: los yuyos plantados en el centro superaron en altura a sus pares de las afueras de la ciudad (algunas especies crecieron un 50 por ciento promedio más). Por otro lado, éste y otros experimentos comprobaron que las plantas producían más polen cuanto mayor era la proporción de CO_2 en el ambiente. Y entre los yuyos librados a su suerte, en el centro de Baltimore no aparecieron las especies autóctonas que suelen crecer en el campo en cuanto se deja de trabajar la tierra.

De estas evidencias, Ziska pudo obtener varias conclusiones: en primer lugar, que los yuyos sobreviven mucho mejor a nuevas condiciones. Con este y otros experimentos, pudo comprobar en particular que los yuyos estudiados se adaptan mejor y más rápido al calentamiento y al aumento del CO_2 que aquellas plantas generalmente explotadas por el hombre.

Es que, según Ziska, la diversidad genética de los yuyos es mucho más grande que la de sus pares sometidos a la agricultura, justamente porque debieron adaptarse para sobrevivir a los constantes ataques humanos con herbicidas; los cultivos "productivos" por su parte, con la constante endogamia que favoreció el hombre, resultaron en especies mucho menos adaptables al medio.

Un segundo corolario de la investigación, relacionado con el anterior, es que a mayores niveles de CO_2 las plantas se hicieron más fuertes y gruesas. Gracias a su mayor robustez las raíces son capaces de resistir por más tiempo hasta que los efectos de los herbicidas se debilitan y pueden volver a crecer. Evidentemente, la mayor adaptabilidad de los yuyos presenta un complejo y costoso problema para la agricultura y su ya creciente y cuestionado uso de los herbicidas.

Pero la conclusión más polémica probablemente sea que, como dice el investigador norteamericano, "ya no existe la selección natural". Es que según él la Teoría de la Evolución está obsoleta: no es que Charles Darwin se haya equivocado, sino que ya no existen las condiciones para que la naturaleza funcione a su ritmo; ahora el hombre interviene sobre ella constantemente al modificar las condiciones del conjunto a toda velocidad desde las profundidades del mar hasta las selvas más frondosas.

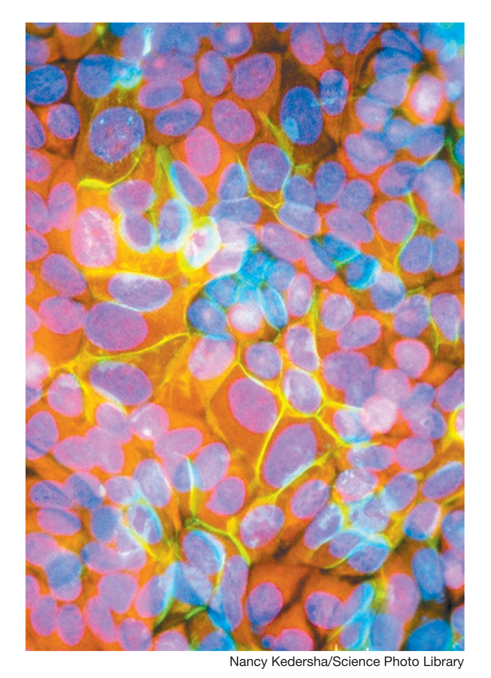
UNETE AL CALENTAMIENTO

Como dice el viejo adagio, si no puedes con tu enemigo... Por eso el investigador propone utilizar algunas de las especies de yuyos que más crecen para hacer biodiesel, algo que considera relativamente fácil de hacer. Según explica, ya ha ocurrido que cultivos demasiado cuidados se tornaron débiles frente a los cambios o las enfermedades, por lo que hubo que cruzarlos con sus parientes salvajes. Eso fue lo que ocurrió, por ejemplo, luego de la gran hambruna de Irlanda en la segunda mitad del siglo XIX, cuando cientos de miles murieron y millones emigraron porque las papas no resistieron una enfermedad y provocaron una feroz hambruna.

Para poder sumar evidencia, Zuskin sigue experimentando en ambientes cerrados con niveles de CO_2 modificados artificialmente. En uno de ellos reprodujo los que existían en 1957, su año de nacimiento, cuando el CO_2 alcanzaba las 310 p.p.m. Allí verificó nuevamente que los altos niveles de CO_2 benefician más a los yuyos que a las plantas explotadas por el hombre, con todo lo que eso significará en los próximos años cuando, aun si hoy mismo se detuvieran las emisiones, la proporción siga aumentando. En otro de los ambientes artificiales, en el que se llevó el nivel de CO_2 hasta 600 p.p.m., al que se calcula se llegará a finales del siglo, los yuyos dieron el doble de polen, lo que permite avizorar un sostenido aumento de las alergias en la población. Según Ziska, hay mucho más por investigar sobre el impacto del CO_2 en la flora en sus distintas formas, ya que ha existido muy poca atención sobre el tema (aunque reconoce que hay mucha información "no oficial" sobre las consecuencias de las emanaciones de CO_2 en los foros de Internet dedicados a las plantas de marihuana, los que generalmente apelan a cultivadores urbanos).

El ciclo de la vida ha sido guiado a lo largo de millones de años por las leyes de la evolución. Actualmente, el hombre ha metido la cola para realizar golpes de timón repentinos sobre el medio ambiente. Sin embargo, a menos que ocurra un verdadero desastre a escala planetaria, lo más probable parece ser que la vida logre seguir bajo alguna de sus múltiples formas, al menos hasta que el Sol se apague en unos 5000 millones de años. Lo que no es tan probable es que una de las formas en las que sobreviva la vida sea la especie humana.

LA IMAGEN DE LA SEMANA



Nancy Kedersha/Science Photo Library

Células malignas de mama

Micrografía inmunofluorescente de células cancerosas de mama. Cultivadas en el laboratorio, estas células han formado una única y apretada capa. Se trata de grandes y no diferenciadas, con capacidad de dividirse rápidamente. En el centro, las células más pequeñas han experimentado la división recientemente. En la imagen, puede apreciarse el núcleo prominente de cada célula (en azul); el citoplasma (en rojo) y las membranas de la célula (en verde). La inmunofluorescencia es una técnica de coloración que utiliza los anticuerpos para unir los tintes fluorescentes a los tejidos específicos y a las moléculas dentro de la célula.